新型肥料的發展

The Development of New Fertilizer

張瑞明[1*]、陳佳玲[1]、譚增偉[1]、郭鴻裕[1]

[1]行政院農業委員會農業試驗所

[*]E-Mail：jmchang@tari.gov.tw

摘　　要

傳統的化學肥料施用於田間，由於雨水的淋溶作用或者土壤的固定作用，作物對肥料的利用率低，約為 30%，不僅耗費生產肥料的能源、增加農業的生產成本，也對環境產生負面的影響。緩/控釋型肥料施入土壤後，養分的釋放時間和釋放量能夠接近作物生長的需肥規律，與傳統化學肥料相較，具有減少田間肥料的管理成本、施用成本、運輸成本，以及對環境友善等優點，可以提升肥料的經濟效應，尤其在面臨農業人口日漸減少以及老化的情形下，發展新型的緩/控釋型肥料是解決肥料在農業經濟上問題的重要途徑之一。然而，發展緩/控釋型肥料，必須增加技術成本與材料成本，使得相同肥料養分含量的緩/控釋型肥料售價高出傳統化學肥料許多，限制了緩/控釋型肥料在農業上的應用，因此，發展適合我國農田肥料管理的緩/控釋型肥料是目前農業科技的重要科目。

關鍵字：緩控釋型肥料、肥料利用率

前　　言

由於世界人口增加，人類一味的追求高產量，不當施用化學肥料，使得肥料之利用率低，肥料之平均利用率約 30%至 35%(Murthy AGK etal,2002；Carreres R et al, 2003；Blaylock,A., 2010；D.S.Powlson et al , 2011)，不但提高農業生產成本，也造成了農產品品質下降，土壤品質劣化，同時帶進了環境汙染等問題（IFA,2007；Halvorson, A.D. and Del Grosso, St.J., 2010；Y. U. Hai-ying et al, 2010）。因此發展肥料養分釋放量與釋放速度能夠配合植物生長各階段對肥料養分需求之控釋型肥料，是目前世界重要的課題之一(Chissoasahi,2007)。 控釋型肥料的類型主要有兩種，一種是以化學方法將肥量直接或間接以共價鍵或離的方式鍵結到聚合物，另一種是以物理方法在化學肥料的外層包覆材料，但由於以化學方法生產控釋型肥料之技術複雜而且成本較高，因此目前多以物理方法研製控釋型肥料(Singh K et al, 2004；Yasm in N etal , 2007； M. Fernandez-Perez et al, 2011）。以包覆材料種類可將包膜型控釋肥料分為 1.無機物包膜肥料，如美國 TVA 研發之涂硫尿素；此類型控

釋肥料之包膜量偏大，相對降低了肥料之養分含量，因此目前之研究較少。2.有機物膜肥料，如美國 ADM 公司開發之 smocote 包膜尿素；此類型控釋肥料之控釋效果 較好，但有殘留物污染土壤之問題。3.可降解包膜肥料，如德國 ASFAG 公司開發 之包膜肥料（Yasm in N, et al, 2007）；此類型控釋肥料目前約佔日本包膜肥料的

50%，是目前控釋肥料的發展方向之一（W.J. Mulder, et al., 2008；Landels, S. ,2010a；Landels, S. ,2010b）。評估控釋型肥料的方法有 1.水中溶出法。2.土壤淋溶法。3.電超濾法。4.同位素追蹤法。5.擴散和滲透濾法。其中以水中溶出法和土壤淋溶法因操作技術簡單而較常為使用。 施用水稻控釋型肥料不但可以節省農民之勞動力，減少環境污染，而且 1.可以使水稻實粒數和千粒重有增加之趨勢；2.施用水稻控釋型肥料可較習慣施化學肥料節省氮磷鉀之肥料用量。3.施用水稻控釋型肥料可較習慣施化學肥料可以增加產值（李等，2005；徐等，2005；錢等，2007）。

目前肥料施用狀況

化學肥料因其速效及施用方便，廣受農民喜愛，佔據農用肥料的絕大部分，目前世界各國的化學肥料用量都很大，每年總需求量約 180 百萬噸。化學肥料是農業生產中最大的物質投資，約佔全部生產性投資的 40％至 60％，根據聯合國農糧組織統計，發展中國家糧食增產中，有 55％來自化學肥料的貢獻。然而由於（1）淋溶損失：氮肥和鉀肥中可溶性氮素和鉀素隨著雨水或灌溉水流失（2）揮發損失：主要是銨的損失（3）土壤固定：水溶性磷轉化成難溶性磷而失去肥效。也就是易出現肥量養份的供給與作物需求不一至的矛盾現象，因此普遍存在著化學肥料的利用率偏低的問題，研究顯示氮肥的利用率為 30%～60%、磷肥的利用率為 10%～20%、鉀肥的利用率為 30%～50%（Trenkel M. E., 1997； Saigusa M., 2000），化學肥料的平均利用率約為 30％，以台灣 103 年約消費 97 萬噸化學肥料計算，則約

有 68 萬噸化學肥料並沒有貢獻在農業生產上，台灣歷年肥料消耗量及估計損失金額如表 1，這不僅造成資源浪費、降低農業生產的經濟效益，同時也帶來嚴重的環境污染。而施用控釋型肥料是一種可以克服上述缺點的一種途徑，因此發展緩/控釋型肥料已成為目前化學肥料革新和研究的趨勢。

新型肥料介紹 緩/控釋型肥料的定義是肥料施入土壤後，在作物的生育期間，養分的釋放時

間和釋放量與作物的需肥規律相配合，可以減少肥料的損失，可提高肥料利用率的肥料。廣義的緩釋型肥料包括緩釋型肥料以及控釋型肥料，其實兩者之間是有區別的，緩釋型肥料（slow release fertilizer）的特點是肥料施入土壤後轉變為作物有效養分之釋放速率遠小於速溶性化學肥料，肥效較長並可減少肥份流失、揮失及淋洗損失，如裹硫尿素(Sulfur-Coated Urea, SCU)、裹硫氯化鉀、裹硫磷酸二銨等；由於硫的價格較低，又是作物生長必需的中量元素，所以裹硫尿素是世界上最早發展也是最普遍的包膜肥料；控釋型肥料（controlled release fertilizer）的特點是可控制肥料養分在土壤中的釋放時間與釋放量，使其肥料養分的釋放模式與作物生長發育的需肥要求一致，是緩釋型肥料的高階產品。

控釋型肥料的優點（1）肥效高：根據作物的對養分的需求釋放養份，養分利用率可以由 30%提高至 65%以上，大幅增加農業經濟效益。（2）肥效長：控釋肥養分可以根據作物需要持續供應幾個月甚至 2 年，減少人工施肥次數與肥料使用量，達到省肥與省工的效果（3）安全：控制型肥料可以控制釋放肥料養份，因此一次施肥不會傷害作物根系（4）減少能源損失及環境污染：控釋型肥料的肥料能源能供給農作物整個生長期對養分的需求，提高肥料的利用率，因此可以減少能源損失及環境污染，並且達到節能減碳的目標。緩控釋型肥料較化學肥料之優點如圖 1.。

世界新型肥料之消費狀況

在國際市場上控釋型肥料的主要供應國家為美國、加拿大、西歐、以色列、印度和大陸，消費國家主要為原產國以及巴西等。由於控釋型肥料產品不斷被開發出來，市場也逐漸擴大，加上許多農作物種植地區地下水氮的汙染漸漸受到關注，當前工業先進國家化學肥料之消費量已呈現零成長或者負成長的趨勢，然而控釋型肥料的消費量每年則以約 10%的成長趨勢發展。90 年代後期，緩控釋型肥料的年消費總量約為 56 萬噸，僅占化學肥料年消費總量的 0.15%，但到了 2008 年全球緩控釋型肥料的年消費總量約為 120 萬噸，則約占世界化肥總消費量的 1.7%。美國緩控釋型肥料的消費市場約占全球年消費總量的 70%，其中約有 90%施用於非農業市場（高爾夫球場、專用草坪、景觀園藝等），約 10%用於高經濟價值之蔬菜、草莓、紅柿、堅果、柑橘等；日本緩控釋型肥料的消費市場約占全球年消費總量的 20%，其中約有 70%用於水稻，20%用於紅柿、蓮藕等；西歐緩控釋型肥料的年消費市場約占美國總量的 25%，其中約有 90%用於非農業市場（高爾夫球場、專用草坪、苗圃等），約 10%用於高經濟價值之蔬菜、甜瓜、草莓、柑橘

等。美國、西歐及日本等 3 大世界主要控釋型肥料的消費市場，自 2010 年起每年分別以 2.0～3.5%、1.5～2.5%、3.0～4.5%的趨勢成長。 控釋型肥料應用存在的問題

技術高：控釋型肥料的生產技術較傳統肥料複雜，相關設備之研究較少，同時包覆的材料、包覆的技術等，均需投入人力開發。價格高：控釋型肥料須添加控釋材料並須對化肥進行二次加工，固其製造成本和售價都高於傳統肥料（表 2.），使得控釋型肥料難以在農田推廣應用。

控釋型肥料的發展史

美國控釋型肥料的發展

1960 年代率先研發，是包膜肥料的發源地，90 年代大量用於花卉、草坪、蔬菜、水果，2005 年後控釋型肥料在農業上的應用每年快速增加。台灣肥料市場的「魔肥」等是由美國進口的控釋型肥料。魔肥經由特殊造粒技術製成純白色硬粒之長效性肥料，可在土壤中依土壤中的含肥量與需肥程度，自動釋放肥份，並加以控制，供植物適時的吸收，由於其神奇的肥效，廣為世界園藝界所愛用。售價每公斤約 244 元 5500 元/22.5 公斤）。

日本控釋型肥料的發展 是一個重視環保的國家，幾與美國同步研發控釋型肥料。

不同於美國將控釋

型肥料施用於非農業市場，日本是最早將包膜控釋型肥料施用在水稻田（縣農業試驗場）的國家，約有 90％以上控釋型肥料用於農業市場，年消耗量約 11.9 萬噸，台灣肥料市場的「好康多」等是由日本進口的控釋型肥料。好康多是利用樹脂將高單位速效水溶性肥料包裹成顆粒，遇到水時，水份滲入顆粒內，將肥料溶解，然後受溫度影響，將肥份釋出，供植物根部吸收。自動施肥機制，肥效供應充份又安全，無肥害，無味清潔，不傷肌膚，安全可靠。售價每公斤約 130 元（ 1300 元/10kg ）。

大陸控釋型肥料的發展

1972 年中國科學院南京土壤研究所研製緩控釋肥料。1985 年鄭州工學院成功使用磷酸銨鉀鹽包裹尿素。目前約有 30 項世界專利，並已發展為世界上緩/控釋肥料種類最多的國家，其中以鄭州大學研發之「樂喜施（LUXECOTE ）」較為有名，年產 10 萬噸；「樂喜施」以磷酸銨鉀鹽為包裹層的控釋肥料，在一粒 3 毫米直徑的包裹肥料表面上，形成了多達 100 億個孔徑為 3 奈米的微孔，使核心的養分緩慢釋放，可維持 90-120 天的肥效，取得了中國發明專利與美國專利授權；用於夏玉米一次性全量基肥與常規施肥相比，可節肥 1/3 至 1/2；經水稻一次性基施田間對比試驗表明，可節肥 1/3，已外銷至澳大利亞、美國、新加坡等國家。 台灣控釋型肥料的發展

台灣目前所使用控釋型肥料分別由日本與美國進口，2005 年從日本與美國進口約 1 萬噸，2006 年進口約 7100 噸，2007 年進口約 2200 噸，每年進口約市價新台幣 1 至 3 億元。然而由於外國與我國土壤環境及作物別差異的關係，其養份之

釋放模式往往無法與我國作物生長對養份的需求模式一致，導致施用控釋型肥料之功效大打折扣，因此農委會台南農業改良場與農委會農業試驗所分別於 2006 與 2009 年各組成研究團隊投入控釋型肥料在農田上的試驗研究，包括選擇包覆材料、包覆技術、成型肥料的實驗室水分溶出試驗（圖 2.）、土柱溶出試驗（圖 3.），並進行田間試驗，比較不施肥、慣行化學肥料、初製控釋型肥料與市售控釋型肥料，4 種不同施肥管理下水稻生長之農藝性狀，試驗結果顯示初製控釋型肥料管理之水稻，株高、分蘖數及穗數均優於慣行化學肥料與市售控釋型肥料，而穗重則與慣行化學肥料相當(表 5)。

在追求農產品品質、經濟效益及環境友好的多重目標要求下，研發新型、安全、環保以及高經濟效率的緩控釋型肥料，已被公認為是 21 世紀肥料的發展方向。

表 1. 台灣歷年肥料消耗量與估計損失金額

年度	施用數量(公噸)	價值（千元）	估計損失金額（70%）（千元）
100	1,008,025	10,983,937	7,688,756
101	1,010,722	12,174,233	8,521,963
102	999,908	11,081,692	7,757,184
103	972,277	9,453,794	6,617,656

表 2. 控釋型肥料在世界區域市場的消費（CRFS CONSUMPTION BY WORLD REGION AND MARKET）(1,000 Metric Tons)

Market Sector	United States (2010)	Western Europe (2009)	Japan (2009)
Agricultural Crops	182	14	48
Consumers	133	41	NEG
Professional Markets	370	85	5
Tatol[a]	686	140	53
Projected Average Annual Growth Rate to 2015	2.0-3.5%	1.5-2.5%	3.0-4.5%

[a] Data may not add to totals because of rounding.

Source : Aglndustries estimates

表 3. 傳統複合肥料與包膜控釋型肥料之售價比較

生產者	肥料種類	價格/重量	價格/公斤
	（1）號複肥 20-5-10	275 元/40 公斤	7 元
台肥公司	（5）號複肥 16-8-12	275 元/40 公斤	7 元
	（39）號複肥 12-18-12	340 元/40 公斤	8.5 元
	（43）號複肥 15-15-15-4	385 元/40 公斤	9.6 元
日本	包膜控釋型肥料 好康多 14-12-14	1300 元/10 公斤	130 元
美國	包膜控釋型肥料 魔肥 6-40-6-15	5500 元/22.5 公斤	244 元

表 4. 比較不同施肥管理水稻生長農藝性狀(104 年第 1 期台農 71 號水稻)

肥培管理	株高	分蘗數	穗數	穗重 (kg/50 株)
不施肥	96.0	27	26	1.670
慣行化學肥料	101.0	30	30	2.393
初製控釋型肥料	112.5	33	32	2.342
市售控釋型肥料	106.5	32	31	2.246

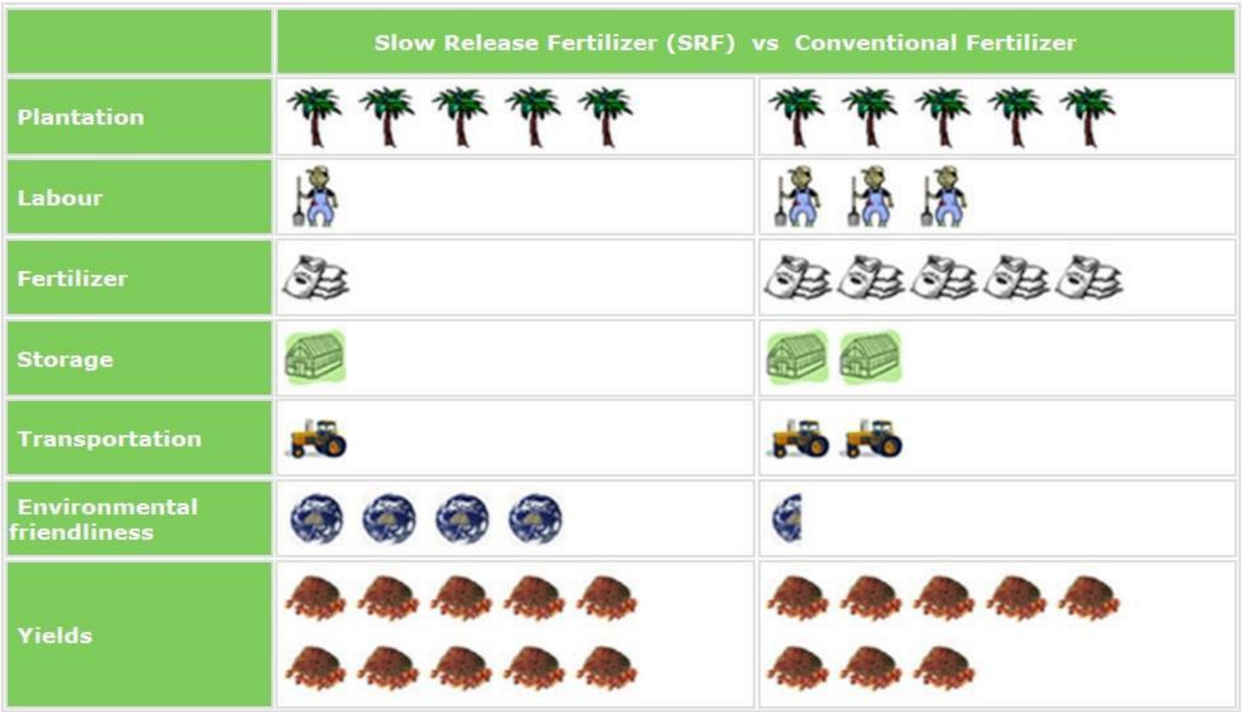

圖 1. 緩控釋型肥料的優點(http://www.cymax.com.my/our_products.asp)

圖 2. 控釋型肥料養分釋出之水浸提法試驗

圖 3. 控釋型肥料養分釋出之土柱淋溶試驗

參考文獻

1. 何文鼎，何浩清，2008，.水稻控釋肥效試驗.。
2. 袁洋，2009，包膜緩控釋肥料用包膜材料的探討，康渥特生態肥業有限公司。
3. 孫家琪，宋學君，孫挺，石元亮，2008，包膜型控釋肥料的研究概況..。
4. 廖松，樊小林，賀訓平.，2001，包膜控釋尿素保肥供肥效果及其機裡的研究【J】.西北科技大學學報，29（6）：13-17.
5. 黎展文，劉濟朝，何文鼎，唐拴虎，2009，水道控釋肥一次性施用技術在廣西藤縣的應用效果研究。
6. Blaylock, A. 2010. Improving Productivity, N-Use Efficiency, and Environmental Sustainability in Broad Acre Agriculture with Controlled- Release Fertilizers. IFA International Conference on Enhanced- Efficiency Fertilizers, Miami, International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
7. Borzacchiello, A.,Ambrosio, L.,Netti, P.A., et al., 2001. Chitosanbased hydrogels: synthesis and haracterization. Journal of Materials Science-Materials in Medicine 12, 861–864.
8. Chissoasahi .2007: The Controlled-Release Fertilizer‘Meister’.Chissoasahi Fertilizer Co. Ltd., Tokyo, Japan.
9. Current world fertilizer trendsand outlook to 2016. Food and agriculture organization of the united nations, Rome, 2012.
10. D. S. Powlson, P. J. Gregory, W. R. Whalley, J. N. Quinton, D. W. Hopkins and A. P. 2011. Whitmore. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services.Food Policy. 36：72-87.
11. Fernández-Pérez, M., Garrido-Herrera, F.J., González-Pradas E.,Villafranca-Sanchez, M., Flores-Céspedes, F., 2008. Lignin and ethyl cellulose as polymers in controlled release formulations of urea. Journal of Applied Polymers Science 108, 3796–3803.
12. Ge, J.J., Wu, R., Shi, X.H., et al., 2002. Biodegradable polyurethane materials from bark and starch. II. Coating material for controlledrelease fertilizer. Journal of Applied Polymer Science 86, 2948– 2952.
13. Halvorson, A.D. and Del Grosso, St.J. 2010. The effect of Enhanced- Efficiency Fertilizers on Nitrous Oxide Emmissions from Various Cropping Systems. IFA International Conference on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Miami. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
14. IFA . 2007: Sustainable Management of the Nitrogen Cycle in Agriculture and Mitigation of Reactive Nitrogen Side Effects. International Fertilizer Industry

Association, Paris,France.
15. Jarosiewicz, A., Tomaszewska, M., 2003. Controlled-release NPK fertilizer encapsulated by polymeric membranes. Journal of Agricultural and Food Chemistry 51, 413-417.
16. Jintakanon, N., Opaprakasit, P., Petchsuk, A., Opaprakasit, M.,2008. Controlledrelease materials for fertilizer based on lactic acid polymers. Advanced Materials Research 55–57, 905–908.
17. Landels, S. 2010a. Controlled-Release Fertilizers: Expanding their Use Beyond Traditional Markets. New AG International, March 2010,Colmar, France.
18. Landels, S. 2010b. Enhanced-Efficiency Fertilizers: World Market Overview. IFA International Conference on Enhanced-Efficiency Fertilizers, Miami. International Fertilizer Industry Association, Paris, France.
19. Martin E. Trenkel. 1997.Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Published by the International Fertilizer Industry Association. Paris,
20. M. Fernandez-Perez, M. Villafranca-Sanchez, F. Flores-Cespedes and I. Daza-Fernandez. 2011. Ethylccellulose and lignin as bearer polymers in controlled release formulations of chloridazon. Carbohydrate Polymers. 83：1672-1679.
21. Nge, T., Hori, N., Takemura, A., et al., 2004. Swelling behavior of chitosan/poly(acrylic acid) complex. Journal of Applied Polymer Science 92, 2930–2940.
22. Saigusa M. 2000. Broadcast application versus band application of polyolefin-coated fertilizer on green peppers grown on andisol. Journal of Plant Nutrition, **23**, 1485–1493
23. S. K. Basu, Naveen Kumar and J. P. Srivastava.2010. Modeling NPK release from spherically coated fertilier granules. 18：820-835.
24. Tindall, T.A. and Detrick, J. 1999. Controlled released fertilizer application and use in production agriculture. In Western Canada Agronomy Workshop, July 7-9. Brandon, MB. pp. 93-96.
25. Trenkel M. E. 1997. Controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture. International Fertilizer Industry Association, Paris .
26. W. J. Mulder, R. J. A. Gosselink and M. H. Vingerhoeds, P.F.H.Harmsen, D. 2011. Eastham. Lignin based controlled release coatings.Industrial Crops and Products.
27. Y. U. Hai-ying, LI Ting-xuan and ZHANG Xi-zhou. 2010. 9. Nutrient Budget and soil nutrient status in greenhouse system. Agricultural Sciences in China.（6）：871-879.